



LUND UNIVERSITY

Värmeåtervinning med lokalt placerad FTX-ventilationsenhet placerad under fönster

Davidsson, Henrik; Johansson, Dennis; Kowshik Chowdary , Sunkavalli

2020

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Davidsson, H., Johansson, D., & Kowshik Chowdary , S. (2020, sep. 9). Värmeåtervinning med lokalt placerad FTX-ventilationsenhet placerad under fönster.

Total number of authors:

3

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Värmeåtervinning med lokalt placerad FTX-ventilationsenhet placerad under fönster

Henrik Davidsson, Energi och ByggnadsDesign, LTH

Dennis Johansson, Installationsteknik, LTH

Sunkavalli Kowshik Chowdary, Energi och ByggnadsDesign, LTH



1. Introduktion

Traditionella ventilationslösningar i bostäder såsom självdrag, frånluftsventilation och centrala FTX-anläggningar har alla sina svagheter. De två första har stora energiförluster och varierande luftflöden beroende på uteklimat och var i fastigheten man befinner sig. Centrala FTX-anläggningar har sin svaghet i dyra installationer med dubbel kanaldragning.

I Skandinavien monteras mer än fyra miljoner fönster till bostäder varje år. Många av dessa är i nya bostäder men flerparten är för renoveringar. Renovering och energieffektivisering med nya fönster innebär tätare hus och sämre inomhusklimat. Befintliga ventilationssystem räcker inte till för att föra bort t.ex. fukt, eller tillföra ny frisk luft. Större och tätare fönster i nybyggnationer innebär större instrålning av solvärme och ett ojämnare inomhusklimat.

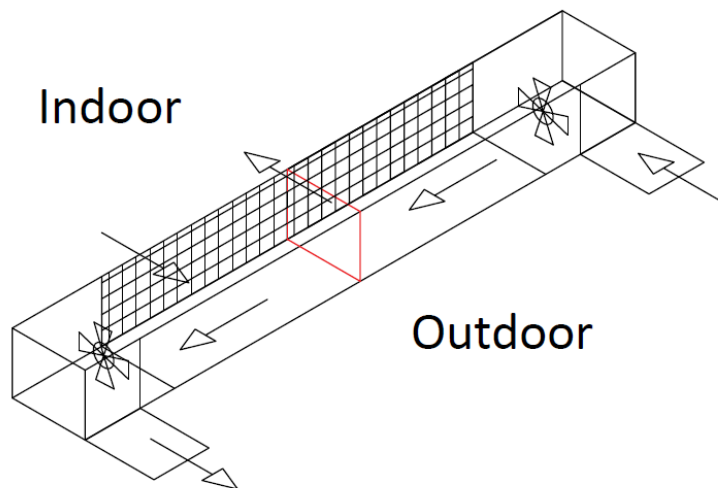
Att förbättra ventilationen i samband med energieffektiviseringar innebär ofta dyra centrala system, typ FTX, eller ökad ventilation genom håltagningar i yttervägg. Det senare är vid nybyggnation inte estetiskt tilltalande och vid renovering ett estetiskt hinder på äldre och K-märkta fastigheter som ofta har ett stort behov av att energieffektiviseras.

En möjlighet för att komma runt de ovan nämnda problemen är att använda sig av en fönsterintegrerad ventilationslösning, en fönsterenhet. Detta har potential att ge en enkel och kostnadseffektiv installation, undviker behov av dyr kanaldragning och ogynnsamt inomhusklimat p.g.a tryckfall och bostäders olika lägen i ett flerfamiljshus. Möjligheten finns att göra denna installation både vid nybyggnad och vid renovering, såväl i villor som i lägenheter och i andra typer av byggnader, vilket inte undersöks här.

Målet med detta projekt är att mäta några viktiga parametrar och göra beräkningar av ekonomi och koldioxidutsläpp under drift. Detta görs genom mätningar i laboratorium samt med olika simuleringsverktyg för uppskattningar. Varje huvudkapitel i denna rapport redovisar respektive mätning och delanalys.

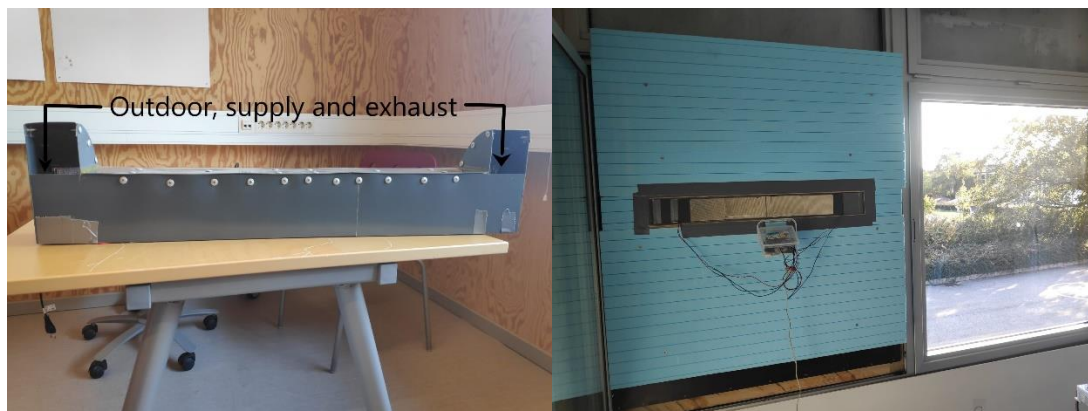
Ventilationsenheten - fönsterenheten

Ventilationsenheten från Smartvent visas i figur 1. Två fläktar finns placerade på vars sin halva. Dessa fläktar förser enheten med luftflöden som går i olika riktningar. Efter förprogrammerad tid växlas riktning på flödet. När luften forceras ut ur enheten värms en värmeväxlare upp. När luftflödet byter riktning forceras luften genom växlaren och värms då upp innan den kommer in. Figur A visar driftläget då den högra fläkten drar luft från utsidan in i rummet samtidigt som den vänstra fläkten drar luft ut från rummet. Nästa tidssteg är flödena ombytta. Värmeväxlarna är placerade mellan fläkt och inlopp. Den röda kvadraten visar en vägg som skiljer de båda sidorna åt.



Figur 1. Ventilationsenheten i genomskärning. Värmeväxlarna visas ej för att göra figuren tydligare.

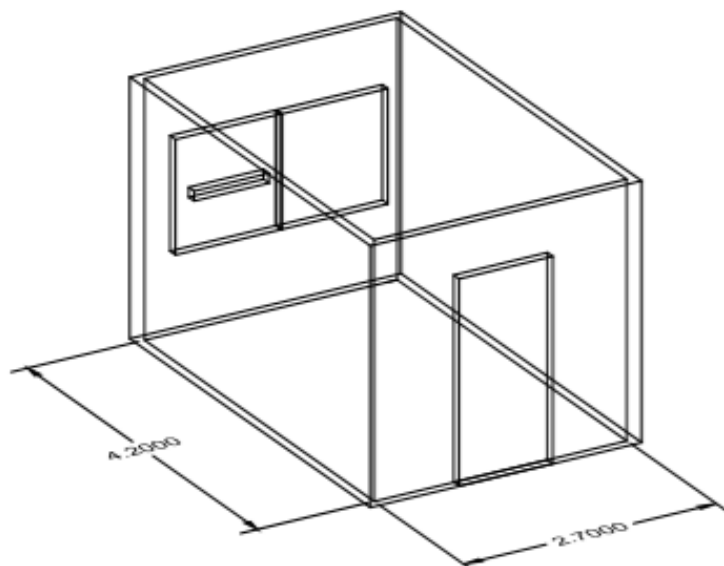
Figur 2 visar enheten till vänster och till höger visas installationen av enheten. Storleken på enheten är 80 cm bred, cirka 9 cm hög och drygt 10 cm djup. Värmeväxlarnas totala storlek är cirka 54 cm bredd, 8 cm höjd och med ett djup på 5 cm.



Figur 2. Till vänster visas ventilationsenheten och till höger visas enheten installerad i en vägg.

Försöksrum

Testerna genomfördes i laboratorium på Lund tekniska högskola, avdelningen för Energi och ByggnadsDesign. Testrummet har en höjd på 2,65 m med en bredd och djup på 2,70 m respektive 4,2 m. Figur 3 visar en skiss på rummet där enheten monterades. Rummet kunde göras lufttätt genom att de små hål som finns tejpades för med plast. Läckaget bedömdes, samt uppmättes, till försumbart vilket är en förutsättning för att göra korrekta mätningar, framför allt av drag och luftflöden.



Figur 3. Försöksrummet där ventilationsenheten testades.

Genomförda mätningar och simuleringar

Nedan listas genomförda mätningar och i tabell 1 anges mätutrustningen.

1. Luftflödesmätningar
2. Drag
3. Kortslutning
4. Temperaturverkningsgrad
5. Luftfart

Följande simuleringar har gjorts:

1. Energianvändning och effektbehov
2. Livscykelkostnader
3. CO₂-utsläpp på grund av driftens energianvändning.

Tabell 1. Använda produkter och mätare för de olika utförda mätarna.

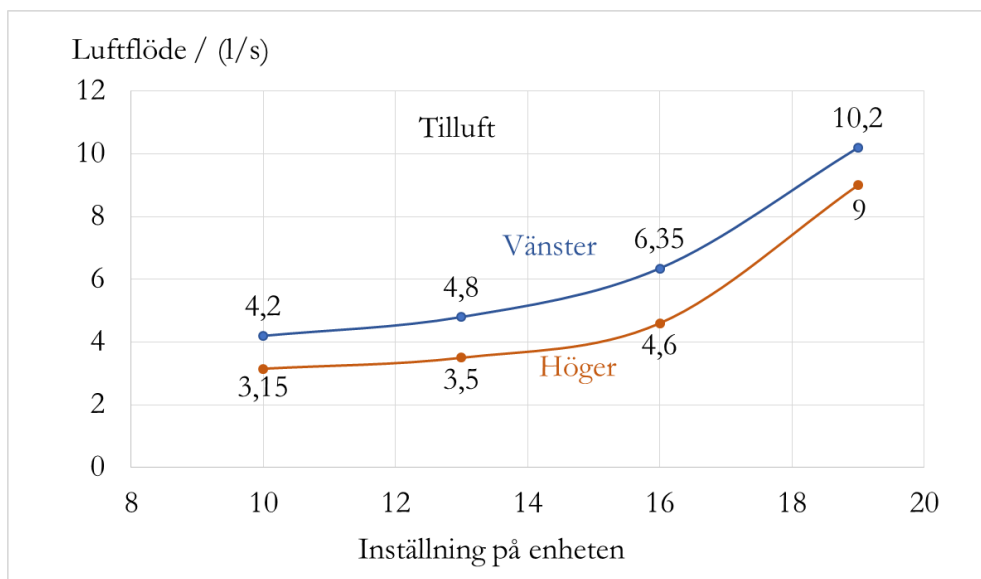
	Produkt/mätare	Kommentar
Luftflödesmätningarna	Swema 125D med mät huv	1,5 l/s till 125 l/s
Drag	Swema 3000	0,05 m/s till 3 m/s
Kortslutning	Gasanalysator INNOVA 1303, och Innova 1312	
Temperaturverkningsgrad	Termoelement samt Campbell Scientific CR 1000 logger	Tunna termoelement för snabb responstid
Luftfart	Testo 435-2	

2. Luftflödesmätningar

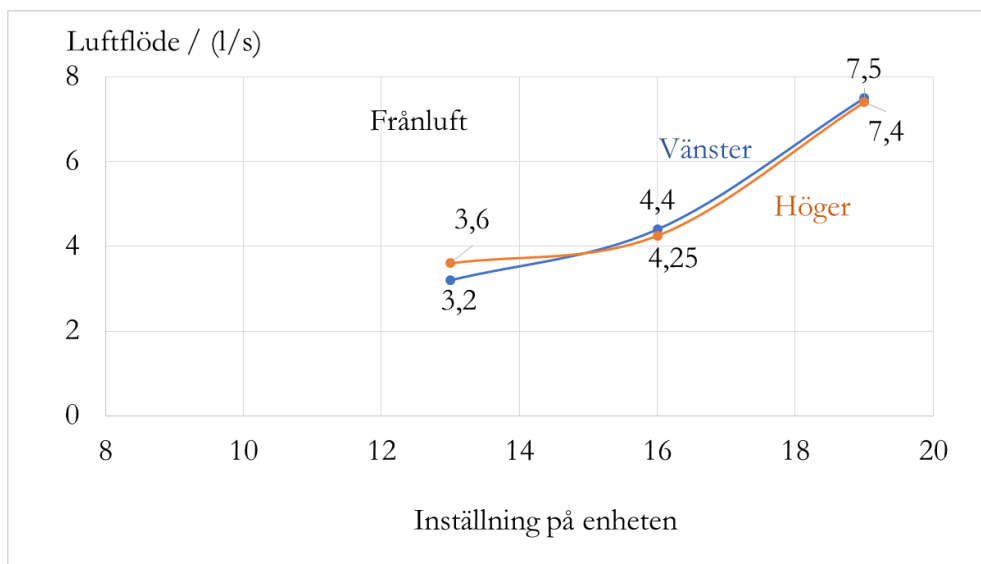
Inställningarna på luftflödeskontrollern är ett nummer som avser olika lägen då själva kontrollenheten egentligen är gjord för en annan produkt. Det finns alltså ingen ekvivalens med flödet.

Swema 125D placerades över en halva av ventilationsenheten i taget. Både från och tilluft mättes för olika inställningar. Magnetringen placerades enligt manualens anvisningar.

Figur 4 visar luftflöden för höger respektive vänster värmeväxlare under tilluftsflöde. Mätetal från den vänstra värmeväxlaren visas med blå graf, i orange färg visas motsvarande för den högra värmeväxlaren. Figur 5 visar motsvarande luftflöden vid frånluft.

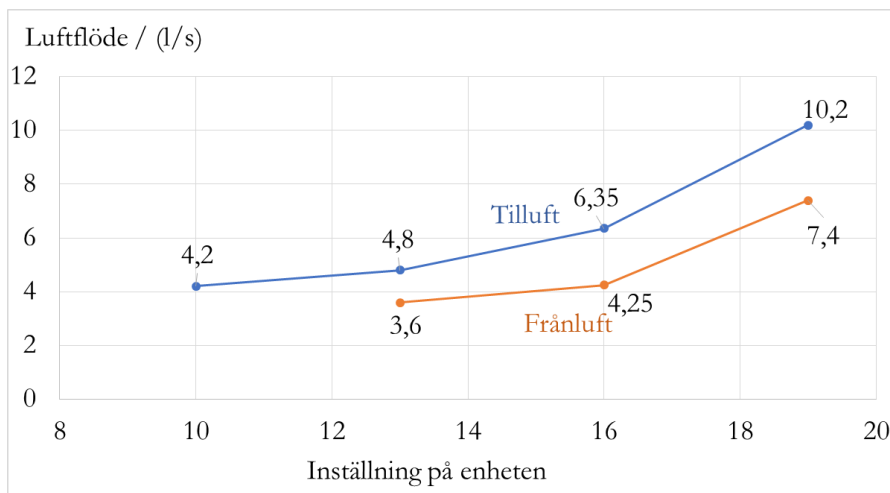


Figur 4. Luftflöde vid tilluft.



Figur 5. Luftflöde vid frånluft.

Figur 6 visar tilluftsflöden den vänstra delen av ventilationsenheten. I blått visas tilluftsflöden och i orange visas frånluftsflöden. Som syns i figuren är tilluftsflödet högre än frånluftsflödet för motsvarande inställning.



Figur 6. Från- och tilluftsflöden för olika inställningar.

Prototypen som testades visade sig ha ett mindre problem med den ena fläkten. Detta syns i figur 4 där den högra fläkten ger ett betydligt lägre flöde. Detta skapar naturligtvis problem men eftersom den vänstra delen av enheten arbetar helt skilt från den högra så kan mätningar för den vänstra delen fortfarande användas i utvärderingen.

Dock kommer detta att påverka luftombyteseffektiviteten negativt. Det ojämna flödet gäller dock enbart i tilluftsläge. Vid frånluft ger de samma flöde.

Då tilluften har ett högre flöde än frånluften kommer enheten att ge upphov till ett litet övertryck. Detta kan leda till fuktkonvektion ut i väggarna, något som ska undvikas och bör justeras.

Kontroll av luftens fart över värmeväxlare

Luftens fart genom vardera värmeväxlare studerades för att undersöka om samma luftflöde passerar de olika delarna av växlaren. Luftens fart uppmättes strax efter värmeväxlaren med en anemometer. 18 mätningar gjordes över värmeväxlaren. Mätningarna genomfördes enligt figur 7. De röda kryssen indikerar ungefär var termoelementen placerades. Hela den indikerade ytan utgör en av de två värmeväxlarna.

×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×

Figur 7. Placering för luftfartsmätningar.

Normerade resultat från mätningen av den vänstra värmeväxlaren visas i tabell 2. Den högra sidan av växlaren hade cirka 20 % högre flöde än den vänstra. Som syns i resultaten är flödet aningen högre på den högra delen av växlaren. Detta kan ha potential att påverka värmeväxlingen negativt. Detta bör undersökas vidare.

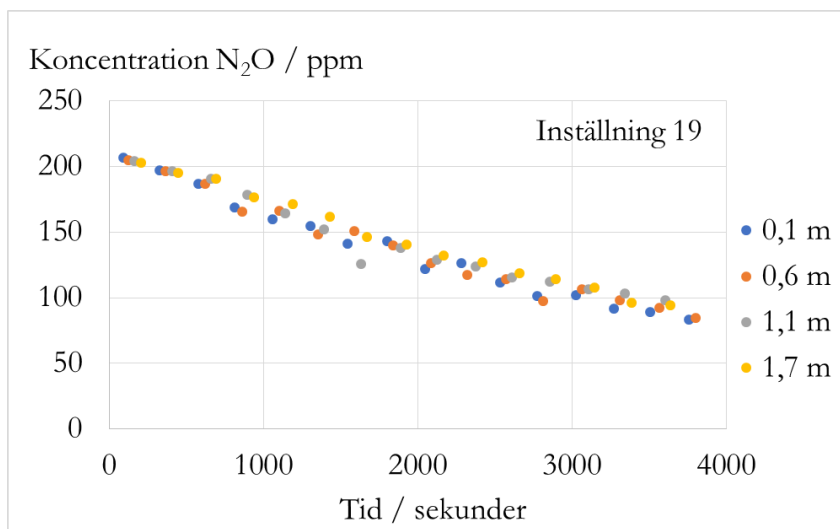
Tabell 2. Luftfart vid utgång för värmeväxlarens keramiska element.

Inställning 16					
67 %	67 %	78 %	89 %	89 %	89 %
67 %	67 %	78 %	89 %	89 %	89 %
78 %	78 %	89 %	100 %	89 %	89 %
Inställning 19					
71 %	79 %	86 %	86 %	93 %	93 %
79 %	86 %	93 %	100 %	93 %	86 %
93 %	86 %	57 %	64 %	64 %	71 %

3. Luftomsättning för olika inställningar

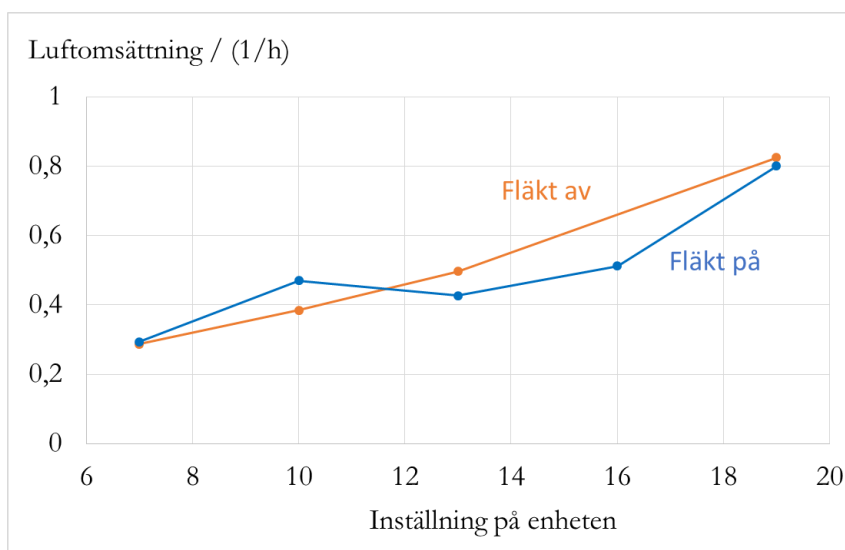
Luftomsättning mättes genom att lustgas tillsattes i rummet. Koncentrationen av gasen mättes vid (0,1; 0,6; 1,1; 1,7) meters höjd. Gasens avklingning mättes med gasanalysator. Försöken genomfördes för inställningarna 7, 10, 13, 16 och 19. Försöken upprepades med en inkopplad omblandningsfläkt i rummet. Detta gjordes för att se om det var någon skillnad på med och utan omblandningsfläkt.

I figur 8 visas koncentrationen av lustgas som funktion av tid då ventilationsenheten var inkopplad på sin maximala nivå, 19. Denna nivå motsvarar ett tilluftsflöde på 10,2 l/s för den vänstra delen och 9 l/s för den högra delen, dvs. 9,6 l/s i snitt. Resultat visas för koncentrationen vid olika höjder.



Figur 8. Koncentration av lustgas som funktion av tid. Ventilationsenheten inställd på 19.

Luftomsättningen visas i figur 9. I orange färgad graf visas effektiviteten med omblandningsfläkten avstängd och i blått visas den men omblandningsfläkten påslagen. Bortsett från mindre mätfel kan vi dra slutsatsen att enheten har en hög luftombytesteffektivitet.



Figur 9. Luftomsättning för olika inställningar.

En jämförelse mellan luftomsättningen med spårgasmätning och luftflödet mätt i kapitel 2 visar på någorlunda överensstämmelse. Med ett medelflöde från kapitel 2 med inställning 19 fås 9,6 l/s, motsvarande 1,15 omsättningar/h vid omblandning, men detta är endast under full drift av de två fläktarna. En hel cykel tar 160 s och under 120 s kör fläktarna i full fart. Om man antar att flödet är halva i genomsnitt under riktningsbytet skulle medelflödet totalt vara hälften så innebär detta 0,875 omsättningar/h att jämföra med cirka 0,8 i Figur 9.

4. Drag

Drag mättes med en Swema 3000. Rummet delades in i ett rutnät, se figur 10. Rummets punkter namngavs enligt högra delen av figur 1. Drag mättes på tre olika höjder, 0,6 m, 1,1 m och 1,7 m.



A	B	C	D	E
F	G	H	I	J
K	L	M	N	O
P	Q	R	S	T
U	V	W	X	Y

Figur 10. Till vänster visas enheten installerad i väggen. På golvet ses de markeringarna som visar var dragmätningarna genomfördes. I figuren till höger ses hur många mätningar som gjordes samt vad varje mätpunkt döptes till (A-Y).

Dragmätningarna presenteras i tabell 3. Samtliga mätningar ligger under det värde som normalt anses vara störande drag, cirka 0,15 m/s eller något högre vid låg turbulensintensitet.

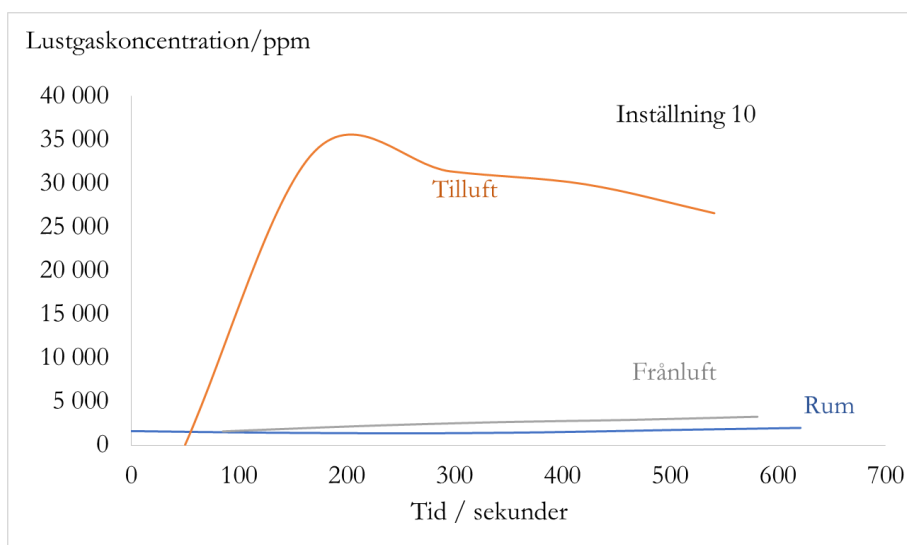
Tabell 3. Mätresultat drag mätt i m/s. Inställningar på ventilationsenheten: 7, 13, 19.

Mät- punkt enligt fig A	Höjd 0,6 m över golvet		Höjd 1,1 m över golvet			Höjd 1,7 m över golvet		
	Inställ. 7	Inställ. 19	Inställ. 7	Inställ. 13	Inställ. 19	Inställ. 7	Inställ. 13	Inställ. 19
A	0,0009	0,0001	0,01	0,0101	0,0035	0,0281	0	0,0067
B	0	0	0	0	0	0,0111	0,0021	0,0032
C	0	0	0	0	0	0,0040	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0,0018	0,0076	0,005	0,0030	0,0050	0,0073	0,0051
G	0	0,0108	0,0034	0	0,0125	0,0004	0,0088	0,0139
H	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
I	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0,0019	0	0	0	0	0	0
L	0	0,0045	0	0	0,0004	0,0020	0,0012	0,0003
M	0	0,0011	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0,0002	0	0	0	0	0	0
Q	0	0,0001	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	0	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0	0	0	0	0	0	0	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0

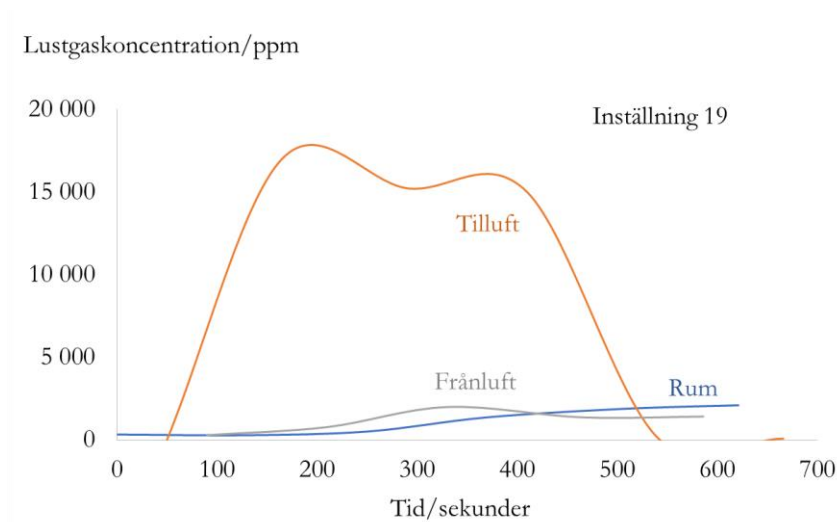
5. Kortslutning:

Enheteten ställdes i ”sommarläge” vilket innebär att den inte byter riktning på fläktarna. Detta kan göras för att undvika värmeväxling med eventuella övertemperaturer. Till tilluften kopplades en N_2O -gasflaska via en slang. N_2O -koncentrationen mäts i mitteln av rummet samt vid ventilationsenhetens frånluftsdel. Om kortslutning mellan ventilationsenhetens tilluft och frånluft kommer detta att synas genom att koncentrationen av N_2O stiger vid frånluftssidan snabbare än vad den stiger i rummets mitt. Den exakta koncentrationen av N_2O är svår att ställa in varför mätvärde ska ses som relativa.

Figur 11 (Inställning 10) och Figur 12 (Inställning 19) visar koncentrationen av N_2O som funktion av tid. N_2O koncentrationen vid tilluften visas i orange kurva, rumskoncentrationen visas i blått och frånluften visas i grått.



Figur 11. Lustgaskoncentration som funktion av tid. Inställning på ventilationsenheten, 10.



Figur 12.

Lustgaskoncentration som funktion av tid. Inställning på ventilationsenheten, 19.

Eftersom koncentrationen av N_2O är ungefär samma som rumskoncentrationen kan slutsatsen dras att det inte sker någon större kortslutning mellan den vänstra och den högra delen av enheten. En liten tendens finns till ökning vid frånluften jämfört med vid rummets mitt. Denna effekt är dock begränsad. Övriga mätningar vid andra luftfarter visar samma resultat.

5. Värmeåtervinning

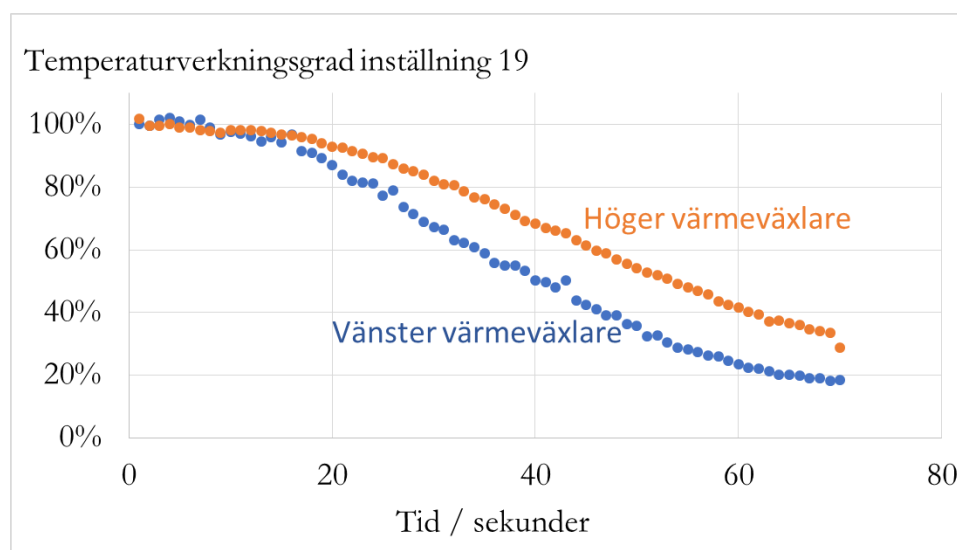
Tunna termoelement fästes på framsida och baksida på såväl vänster som höger sida av enheten. Långtidsmätningar genomfördes under flera dygn. Olika driftinställningar testades (7,13,19). Medelvärde bildades under perioden med konstant fart (60 sekunder) samt under nervarvningsperioden (10 sekunder). Ett viktat medelvärde för den totala cykeln bildades genom att vikta verkningsgrad med flödes hastigheten under respektive period.

Eftersom de båda fläktarna ger olika flöden separerades resultaten från mätningarna i en vänsterdel och en högerdel. Resultatet från det flödesviktade medelvärdet visas i tabell 4, som visar temperaturverkningsgraden.

Tabell 4. Temperaturverkningsgrad för ventilationsenheten vid olika inställningar.

Inställning	Luftflöde vänster / (l/s)	Luftflöde höger / (l/s)	Verkningsgrad vänster	Verkningsgrad höger
13	4,8	3,5	0,69	0,81
19	10,2	9	0,64	0,77

Figur 13 visar temperaturverkningsgraden från två på varandra följande minuter. I blått visas temperaturverkningsgraden för den vänstra värmeväxlaren och i orange visas motsvarande för den högra värmeväxlaren. Resultatet visar att verkningsgraden faller relativt lågt mot cykelns slut. Notera att de sista 10 sekunderna varvas fläktarnas ner från maxflöde till stillastående.

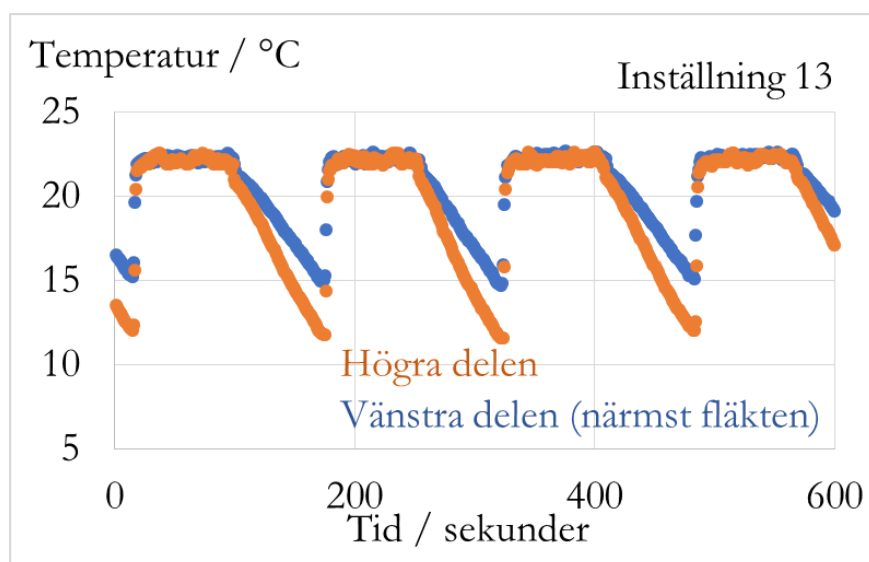


Figur 13. Temperaturverkningsgrad för den vänstra samt den högra värmeväxlaren vid inställning 19.

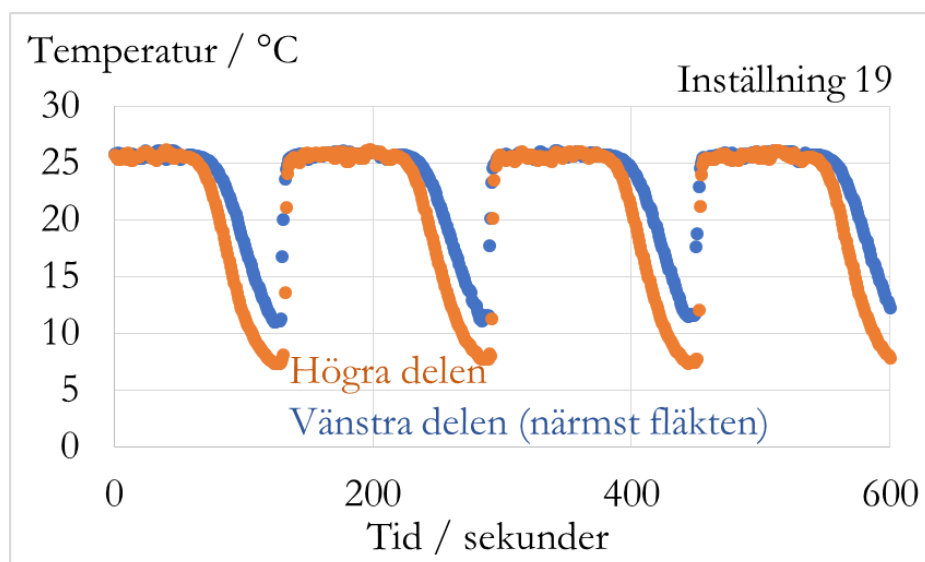
Figur 13 indikerar att värmeväxlaren töms på värme till ganska stor del. Den cykellängd som ventilationsenheten är inställd på kanske kan optimeras bättre, exempelvis genom att ställa en kortare cykel för att öka genomsnittlig verkningsgrad. Alternativt kan en större växlare passas in i enheten om möjligt.

Figur 14 och 15 visar tilluftstemperaturen som funktion av tid för inställningarna 13 respektive 19. Båda figurerna visar temperaturer från den vänstra värmeväxlaren. De orangefärgade graferna visar temperaturen på den högra delen av denna värmeväxlare och den blå grafen temperaturen på den vänstra delen. Alltså är de orangefärgade graferna från den del

av värmeväxlaren som sitter längst bort från själva fläkten, se figur 2. Det tycks som om dessa delar av värmeväxlaren tappar i temperatur snabbare än den vänstra, närmre i förhållande till fläkten, gör. Det ska påpekas att detta inte beror på att mätarna svarar på temperaturförändringar olika fort. Det snabba svaret från mätarna ses bland annat i svängningen från kallt till varmt dvs. när fläkten byter riktning från tilluft till frånluft. Båda sidornas temperaturgivare visar snabbt samma temperaturer. Detta stämmer väl med resultatet som visas i tabell 2 där det syns tydligt att den högra delen har ett högre luftflöde än den vänstra delen.



Figur 14. Temperatur som funktion av tid. Inställning 13.

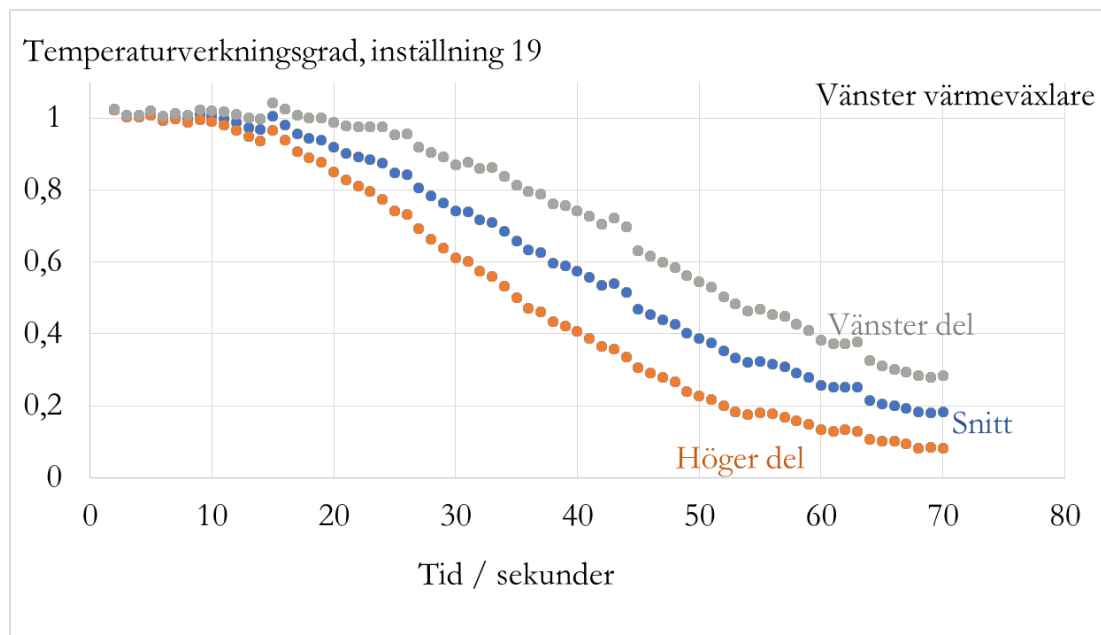


Figur 15. Temperatur som funktion av tid. Inställning 19.

Verkningsgrad för olika delar av värmeväxlaren

Då resultaten från verkningsgradsmätningarna kommer från två temperaturmätningar (två på vänster värmeväxlare och två på höger värmeväxlare) är det också möjligt att beräkna verkningsgraden för vardera halva (vänster/höger) av de respektive delarna. Figur 16 visar

resultatet från en sådan jämförelse. I grått visas temperaturverkningsgraden för den vänstra delen av den vänstra värmewäxlaren. I orange visas motsvarande för den högra delen av denna värmewäxlare. I blått visas ett snitt av de båda. Det är tydligt att de båda delarna inte presterar lika bra.



Figur 16. Temperaturverkningsgrad för vänstra samt högra halvan av den vänstra värmewäxlaren. I blått visas snittet av de båda halvorna.

6. Ljud

Ljudmätningar genomfördes i ett ljudlaboratorium hos Swegon AB. Mätningarna följer de standarder som används vid mätningar av ljud från ventilationsdon. Mätningarna gjordes i ett kalibrerat mättrum och avser efterklangsmätningar. För att justera mätvärdena till ett rum med en dämpning på $10 \text{ m}^2_{\text{Sabine}}$ ska 2 dB läggas till. Ett normalt bostadsrum är ofta lite större än $10 \text{ m}^2_{\text{Sabine}}$ vilket innebär att värdena i tabellen skulle kunna spegla ljudnivån i ett rimligt sovrum. Ljudet som redovisas är A-vägt, enligt normal praxis. Enheten monterades så att ljud från utsidan av enheten försvann ut ur mättrummet, precis som det skulle bli vid montering i en vägg. Ljud till utsidan mättes inte. Ventilationsenheten testades vid inställningar 7, 13, 19.

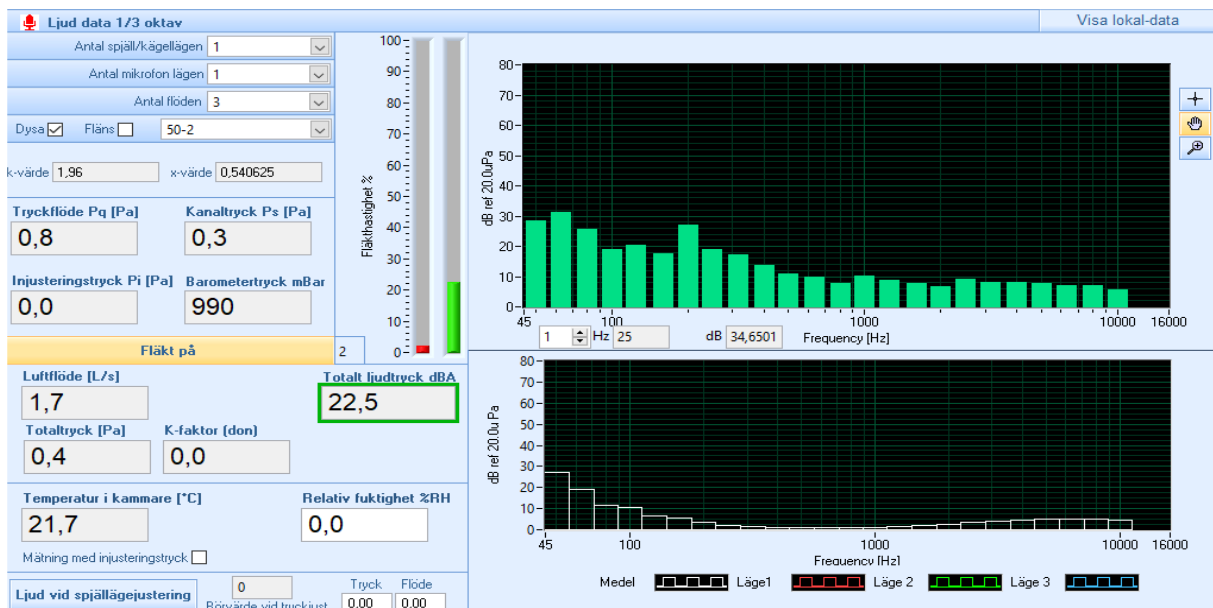
Ventilationsenheten som testades var inte densamma som den som testades för övriga mätningar. Eftersom det fanns någon störning på den ena fläkten fick en ny enhet sättas samman för ljudmätningarna. Eftersom de ingående komponenterna är av samma slag bör inte luftflödena skilja markant från varandra mellan de två testade enheterna.

Totalt ljudtryck för de olika driftfallen redovisas i tabell 5. Kraven på att inte överstiga 30 dB(A) uppfylls inte i normala bostadsrum vid högsta flöde men vid lägre flöden. Notera att rummen kan ha andra ljudkällor som måste adderas till ventilationsenhetens ljudeffekt. Dock innehåller denna enhet både från- och tilluftsdon. Figurerna 17-19 visar tersbandsuppdelningen för respektive inställning utan A-vägning. Rimligen kan en del ganska enkla åtgärder göras för att minska ljudet en del från enheten. Det noteras att mycket av ventilationsdonsutveckling handlar om empiriska försök som avser att hålla ner ljudalstringen.

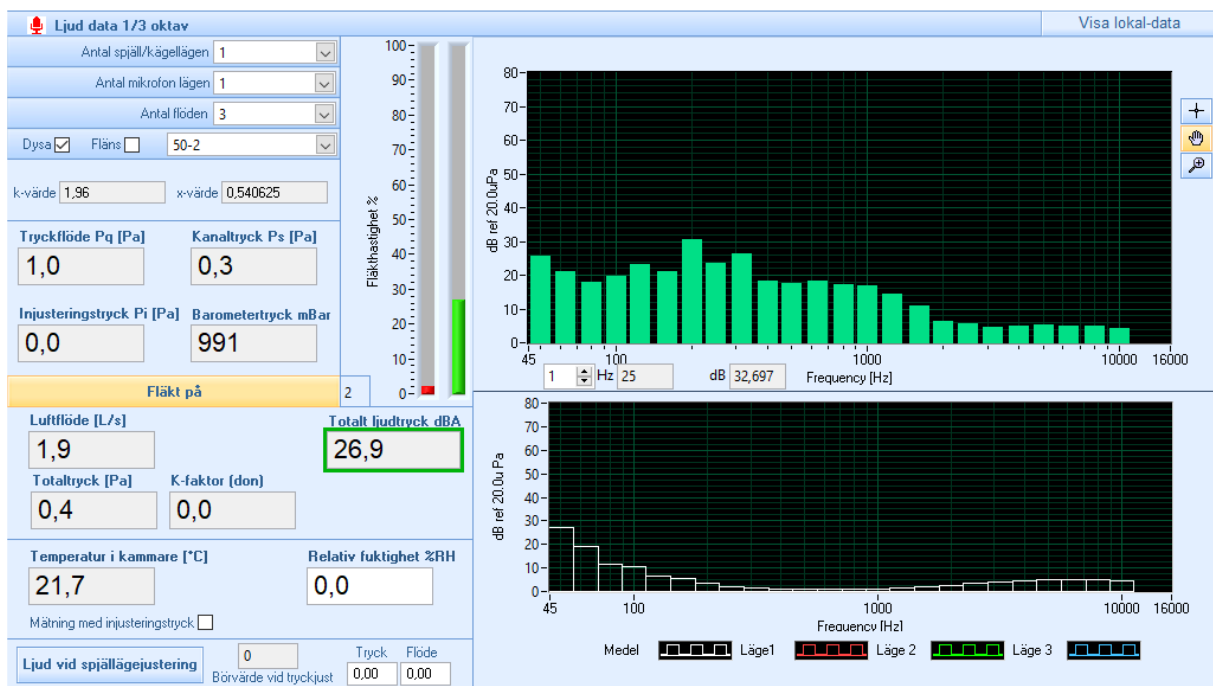
Tabell 5. Ljudnivå i efterklangsfältet i det kalibrerade mättrummet. För att få värdena att motsvara et trum med $10 \text{ m}^2_{\text{Sabine}}$ ska 2 dB adderas.

Inställning	Flöde / (l/s)	Ljudtryck / dBA
Bakgrundsljud	-	
7	Ej uppmätt*	22,5
13	4,8	26,9
19	10,2	44,9

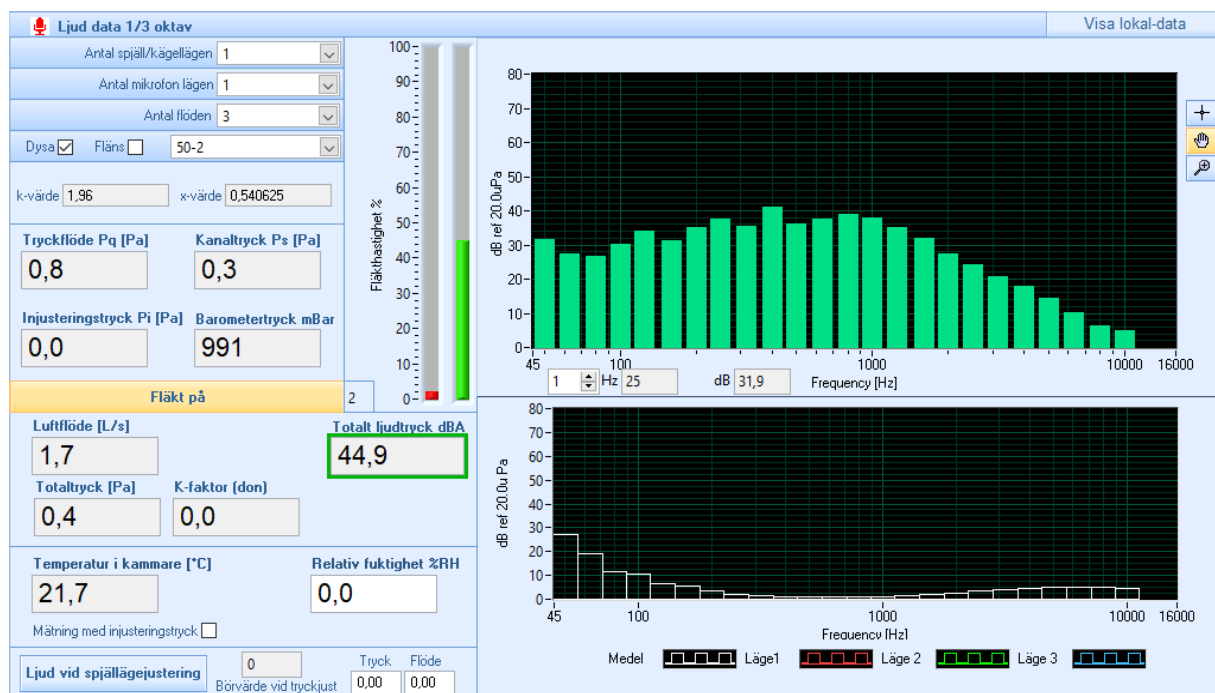
*EJ uppmätt då tillgänglig utrustning ej klarar av så låga flöden.



Figur 17. Inställning 7.



Figur 18. Inställning 13



Figur 19. Inställning 19

7. Simuleringar energi och effektbehov

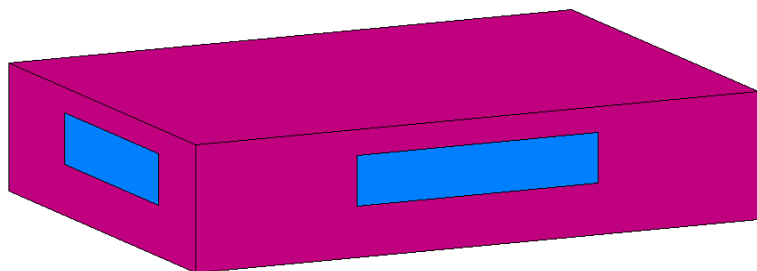
För att undersöka energibesparingspotentialen för ventilationsenheten simulerades det årliga energibehovet med det dynamiska simuleringsprogrammet Derob. Samtidigt simulerades den maximala värmeeffekten som också påverkas av ventilationssystemet.

En 1-zonsmodell användes som byggnadsskal, se figur 21. Detta bedömdes som rimligt med tanke på att ventilationsenheten är tänkt att placeras i vardera rum i byggnaden. Väggar tak och golv modellerades med element bestående av 100 mm betong plus antingen 300 mm isolering eller 150 mm isolering. Isolertjocklekarna valdes för att motsvara ett nyare, mer välisolerat hus, respektive ett äldre sämre isolerat hus. Bägge husen modellerades med treglasfönster med ett U-värde på 1,0 W/m²K. Att bägge husen modellerades med moderna fönster beror på att ventilationsenheten antas installeras i samband med fönsterbyte.

Ventilationen i byggnaden antogs vara 0,35 l/m²/s vilket gav ett totalt ventilationsbehov på 49 l/s. Värmeväxlarens verkningsgrad varierades mellan 0, dvs. ingen värmeväxlare, upp till 85 % temperaturverkningsgrad. De mest intressanta simuleringsparametrarna presenteras i tabell 6.

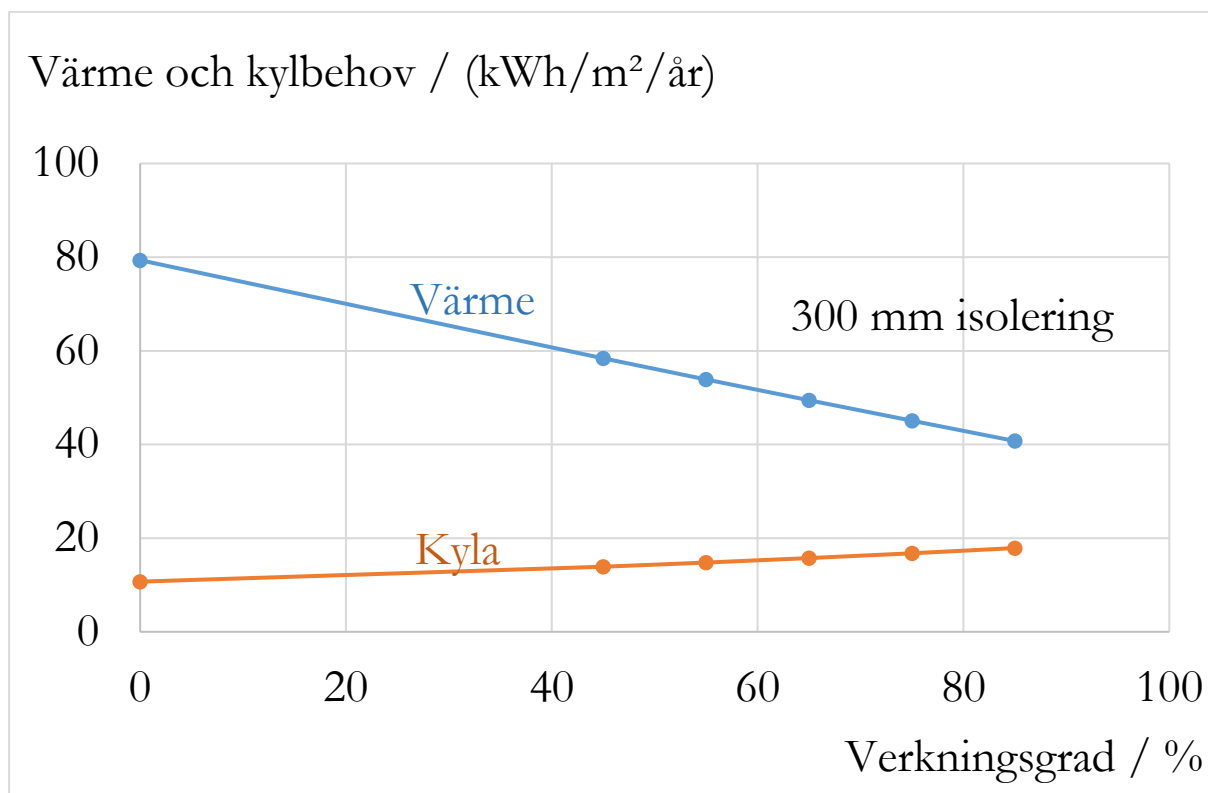
Tabell 6. Indata till simuleringarna.

Byggnads	14 m · 10 m platta, 2,5 m högt.	
Väggar, tak och golv	100 mm betong + 300 mm isolering 100 mm betong + 150 mm isolering	U-värde = 0,13 W/(m ² K) U-värde = 0,25 W/(m ² K)
Värme och kyla	Ingen begränsning på värme- och kylsystem	T-värme = 21 °C T-kyla = 27 °C
Fönster	Treglas, argon , lågemittansskikt på ena glaset.	U-värde = 1,0 W/(m ² K) g-värde = 0,54
Glasarea	Totalt 21 m ² Motsvarar cirka 15 % av den totala golvarean	Syd = 6 m ² Väst = 5 m ² Öst = 5 m ² Nord = 5 m ²
Lufttäthet	Vid 50 Pa övertryck	0,8 l/s/m ²
Internvärme	3,3 W/m ² (140 m ² total golvyta)	P internvärme = 462 W
Klimat	Stockholm	
Ventilation	0,35 l/m ² /s	Total ventilation = 49 l/s
Verkningsgrad värmeväxlare	Bypass på värmeväxlare för att undvika övervärme	η=0, 45 %, 55 %, 65 %, 75 % och 85 %

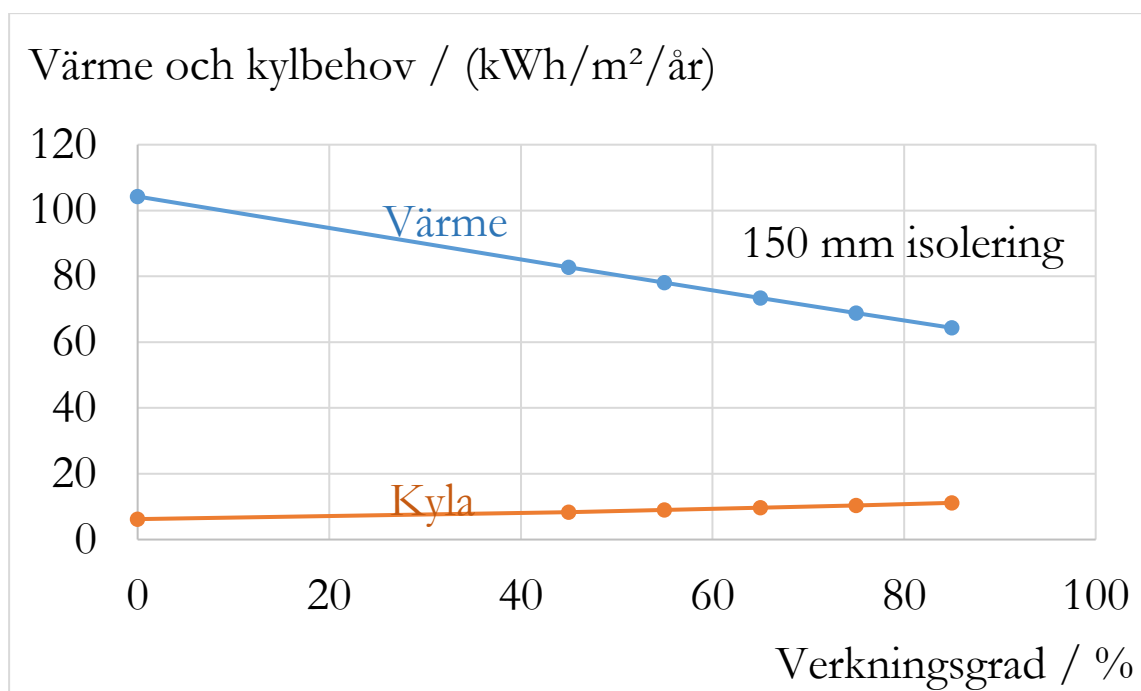


Figur 20. Illustration av det simulerade huset

Figur 21 visar det årliga värme- och kylbehovet för huset med 300 mm isolering. Kylbehovet påverkas inte lika mycket av ventilationsenheten som värmebehovet gör. Figur 22 visar motsvarande resultat för huset med 150 mm isolering.

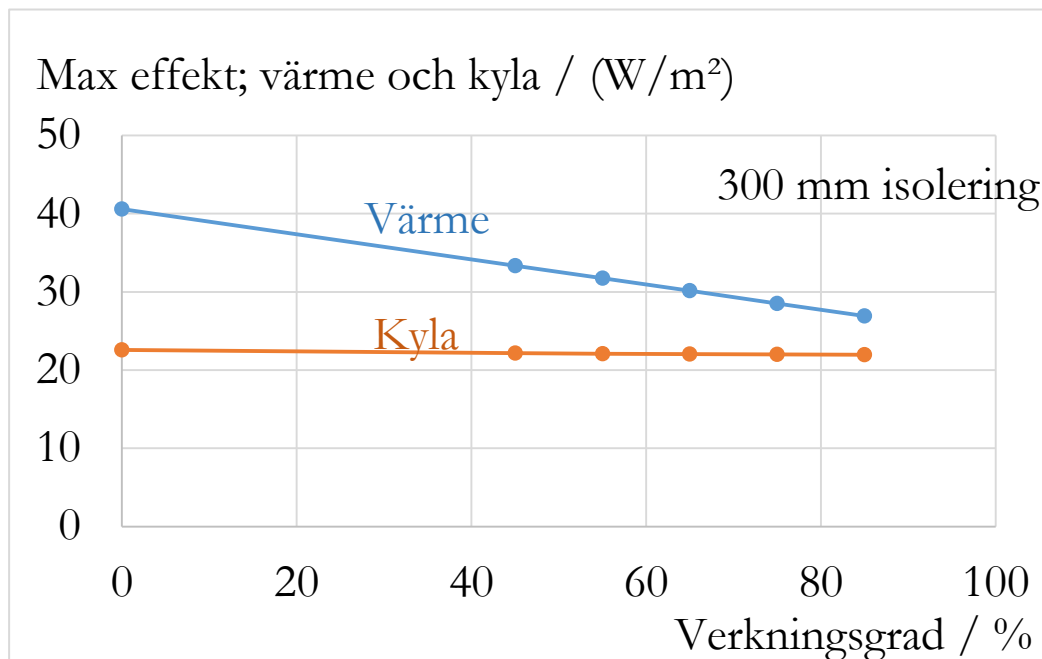


Figur 21. Värme- och kylbehovet för huset med 300 mm isolering som funktion av verkningsgrad på ventilationsvärmväxlaren.

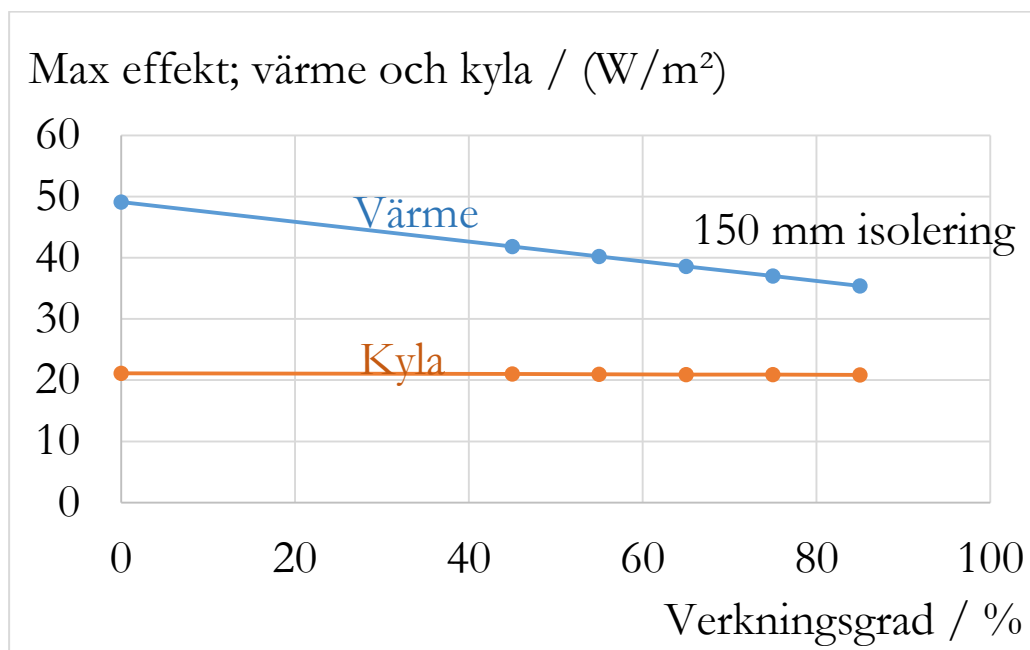


Figur 22. Värme- och kylbehovet för huset med 150 mm isolering som funktion av verkningsgrad på ventilationsvärmväxlaren.

Figur 23 visar maxeffektbehovet för byggnaden med 300 mm isolering som funktion av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad. Figur 24 visar motsvarande resultat för byggnaden med 150 mm isolering. Det maximala kylbehovet påverkas inte nämnvärt av värmeåtervinning.



Figur 23: Maxeffektbehovet för kyla och värme för byggnad med 300 mm isolering som funktion av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad



Figur 24: Maxeffektbehovet för kyla och värme för byggnad med 150 mm isolering som funktion av värmeväxlarens temperaturverkningsgrad

Behovet av tillförd värme minskar drastiskt när värmeväxlare används. Besparingarna som göras blir något större för huset med 150 mm isolering jämfört med det bättre isolerade huset.

Detta beror på att det välisolerade huset har ett lägre värmebehov och uppvärmningssäsongens längd därmed blir större. Maxeffekten för en byggnad försedd med en ventilationsenhet med en temperaturverkningsgrad på 85 % är cirka 1 900 W lägre än för ett hus som helt saknar värmeåtervinning på ventilationen. Detta gäller oavsett isoleringsgrad.

Behov av antal ventilationsenheter

Beroende på vilka inställningar som ventilationsenheten körs i kommer brukarna att behöva installera olika många enheter. Om vi använder simuleringsmodellen som typfall kommer det totala ventilationsbehovet att vara 49 l/s. Tabell 7 visar antalet enheter.

Tabell 7. Antal enheter som behövs för att ge 49 l/s totalt.

Inställning	Luftflöde / (l/s)	Antal ventilationsenheter	Verkningsgrad
1	4,2	12	
2	4,8	11	0,69
3	6,4	8	
4	10,2	5	0,64

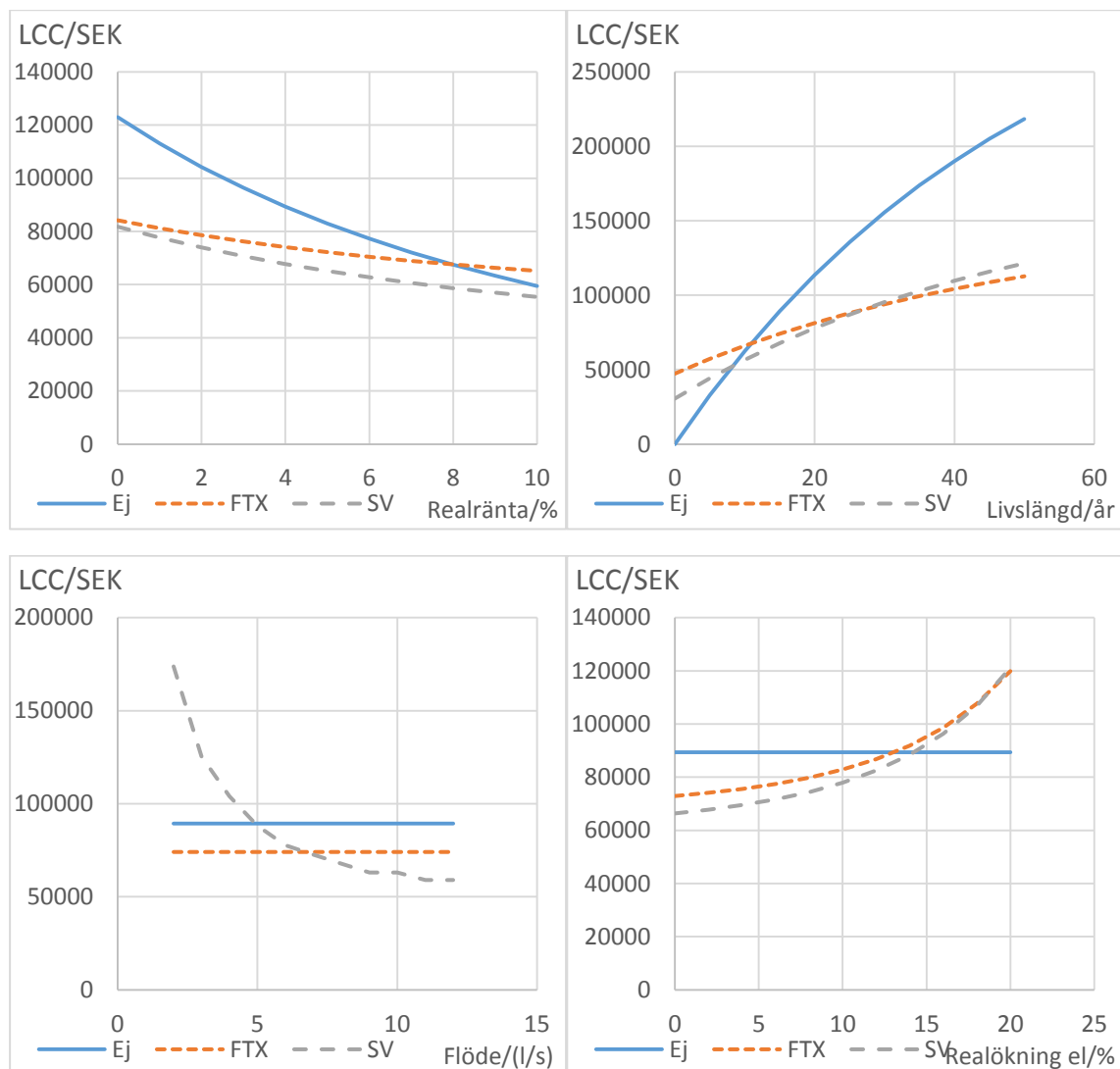
8. Livscykelkostnader (LCC) och koldioxidbelastning för energi

Livscykelkostnaderna för tre alternativ har beräknats där uppvärmning av tilluft har ingått samt initial kostnad för antingen ett ordinärt FTX-system eller för erforderligt antal fönsterenheter. Alternativ ett är att inte göra något men under antagandet att normenligt ventilationsflöde om 0,35 l/(s·m²) finns. Alternativ 2 är en ordinär FTX-anläggning med tilluftsdon i sovrum och vardagsrum och frånluftsdon i kök och badrum med normal kanaldragning och priser baserade på Johansson (2005) korrigerade till dagens nivå genom en nominell ökning av byggkostnaderna på 2,5% per år när det gäller nybyggnad och från konvertering till FTX i Kvinneby, Linköping, för renovering av lägenheter. Här ingår även kostnader för att lösa brandproblematik i lägenheter. Alternativ 3 är fönsterenheter som testas i detta projekt. Här är brandproblematiken löst genom olika aggregat till olika brandceller i flerbostadshus. Tabell 8 visar indata och beräknade alternativ. CO₂-utsläpp har tagits från ”Rapportering av energianvändningen och växthusgasutsläppen 2018” av Porsö, samt Energiföretagen.

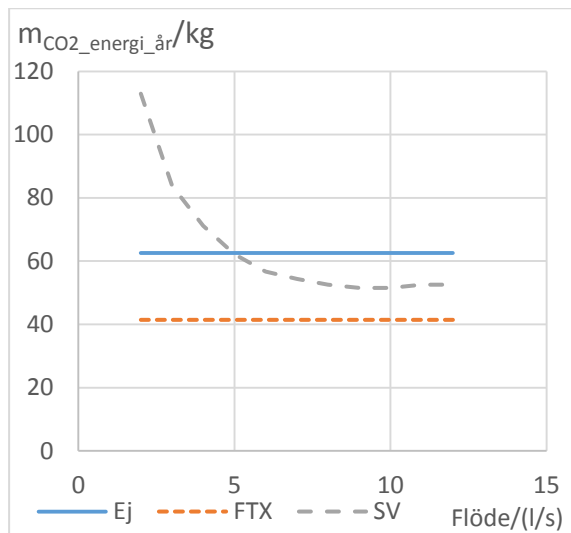
Tabell 8. Indata för beräkning av livscykelkostnad och koldioxidutsläpp från energi. Alla priser är inklusive moms.

	Alla	Villa	Nytt flerbostadshus	Renovering flerbostadshus
Värmepris/(kr/kWh)	1			
Elpris/(kr/kWh)	1.5			
Årlig realprisökning värme/%	2			
Årlig realprisökning el/%	2			
Realränta/%	4			
Livslängd/år	15			
Kostnad per fönsterenhet/SEK	4375			
Kostnad för ordinär FTX /SEK		47374	393034	1444000
Atemp/m ²		150	800	800
		Malmö	Kiruna	
Gradtimmar för uppvärmning/((°C·h)		110331	184599	
Utsläpp av CO ₂ för el/(g/kWh)		62.9	62.9	
Utsläpp av CO ₂ för värme/(g/kWh)		9	114	
		Ingen återvinning	Ordinär FTX	Fönsterenhet
Återvinningsgrad/%		0	70	80
Flöde per enhet/(l/s)				8
				(5.49+0.523*e [^] (flöde*0.244)) W
Fläktel		0	1 W/(l/s)	

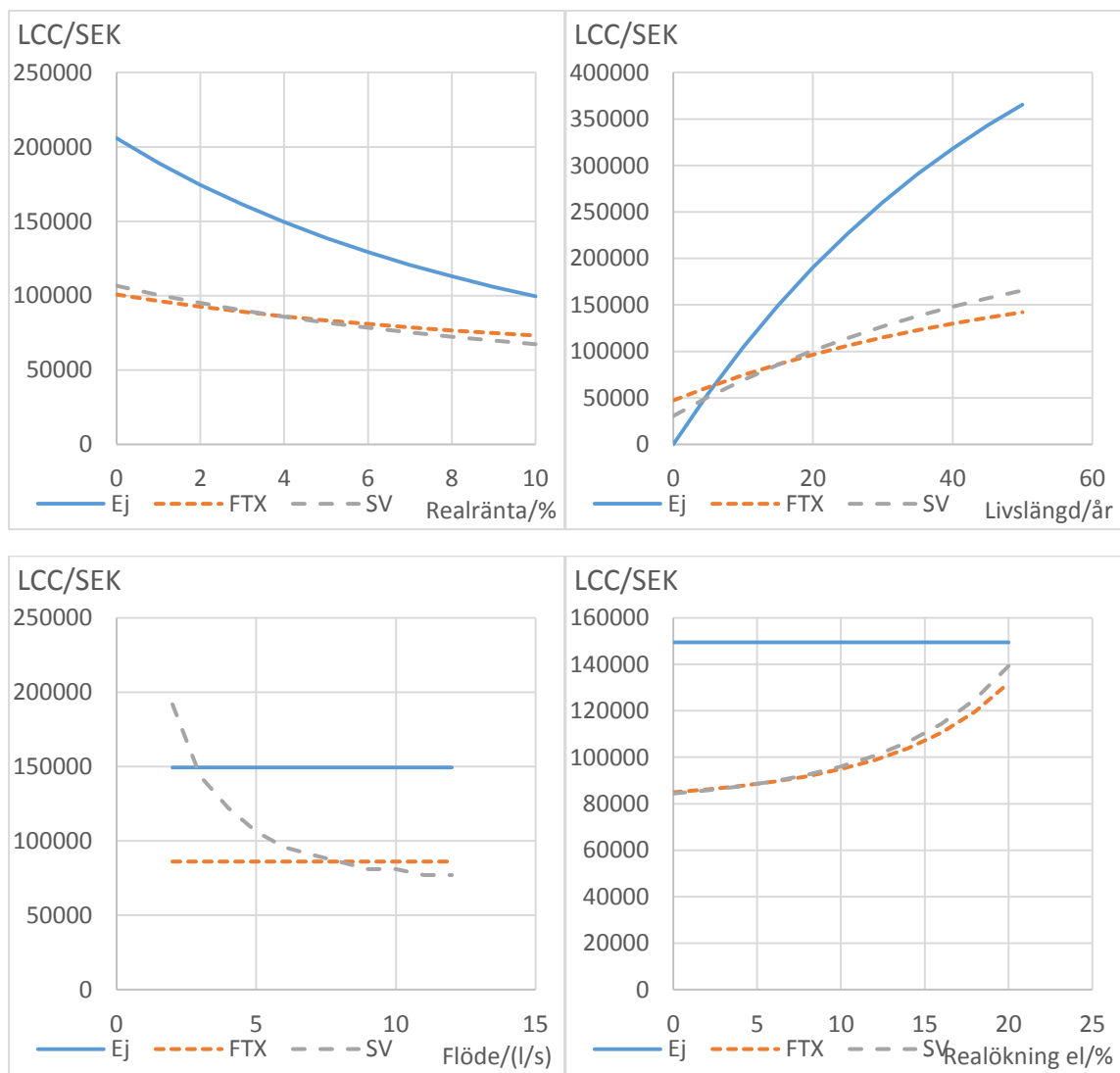
Livscykelkostnaden beskrivs som nuvärde av initial kostnad och energikostnad, som har antagits enligt tabell 8. Figur 25-32 visar resultatet, där värden har antagits enligt tabell 8 för alla parametrar som inte har varierats i respektive figur. Man ser att nyttan med värmeåtervinning är större i Kiruna än i Malmö. Flödet per fönsterenhet bör vara så stort som möjligt med tanke på LCC men cirka 8 l/s med tanke på CO₂. Med tanke på ljud bör heller inte flödet vara för stort. Elpriset måste öka oerhört mycket för att inte göra värmeåtervinning olönsam baserat på den extra el som behövs för återvinningens extra tryckfall. Fönsterenheten har något sämre SFP-tal än ordinär FTX, om den är väl dimensionerad. Man kan också hitta sämre lösningar.



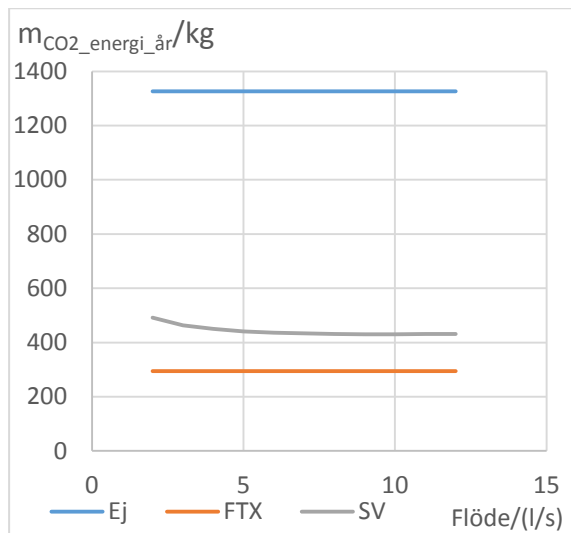
Figur 25 a-d. LCC för nybyggd villa i Malmö som funktion av realränta, livslängd, flöde per fönsterenhet samt årlig realprisökning för el.



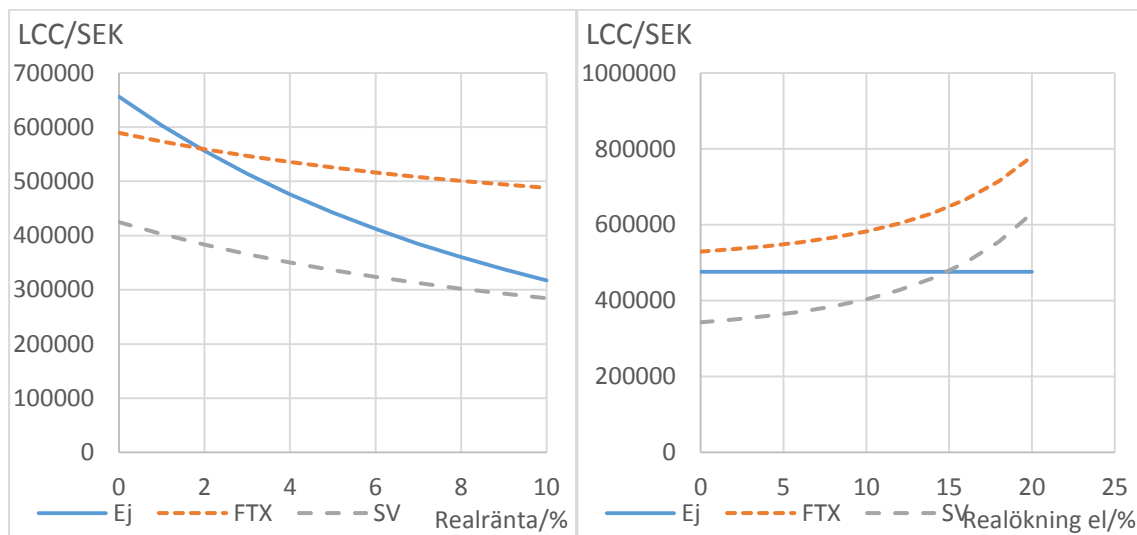
Figur 26. CO₂-utsläpp orsakade av årlig energianvändning för nybyggd villa i Malmö.



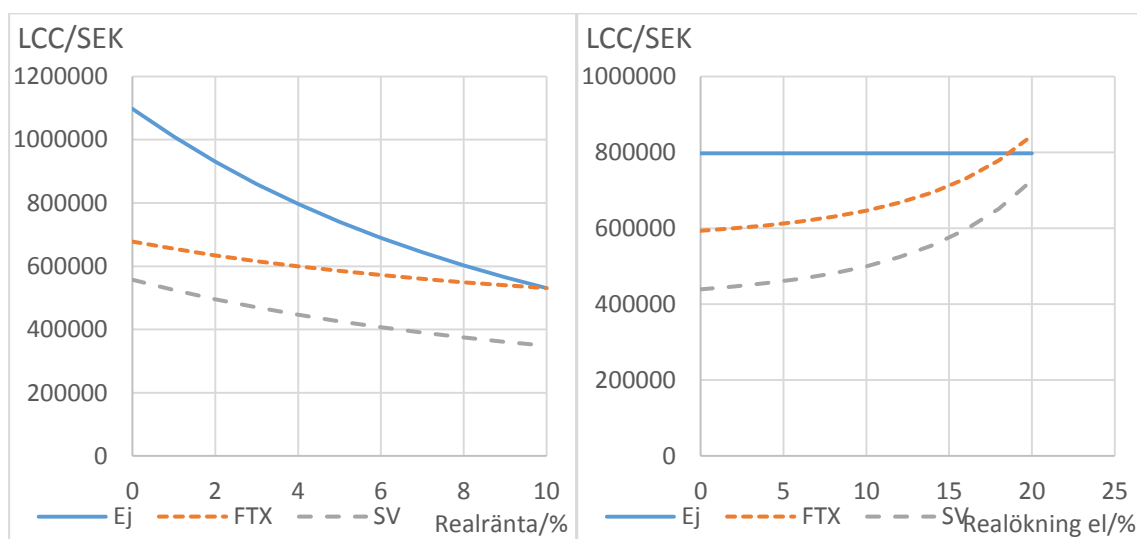
Figur 27 a-d. Nybyggd villa i Kiruna.



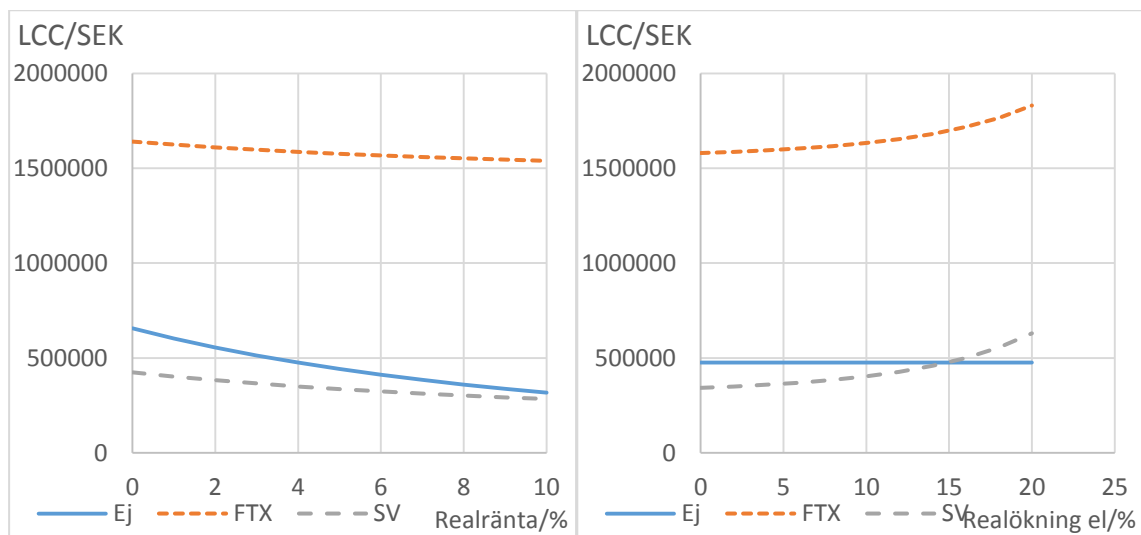
Figur 28. Nybyggd villa i Kiruna.



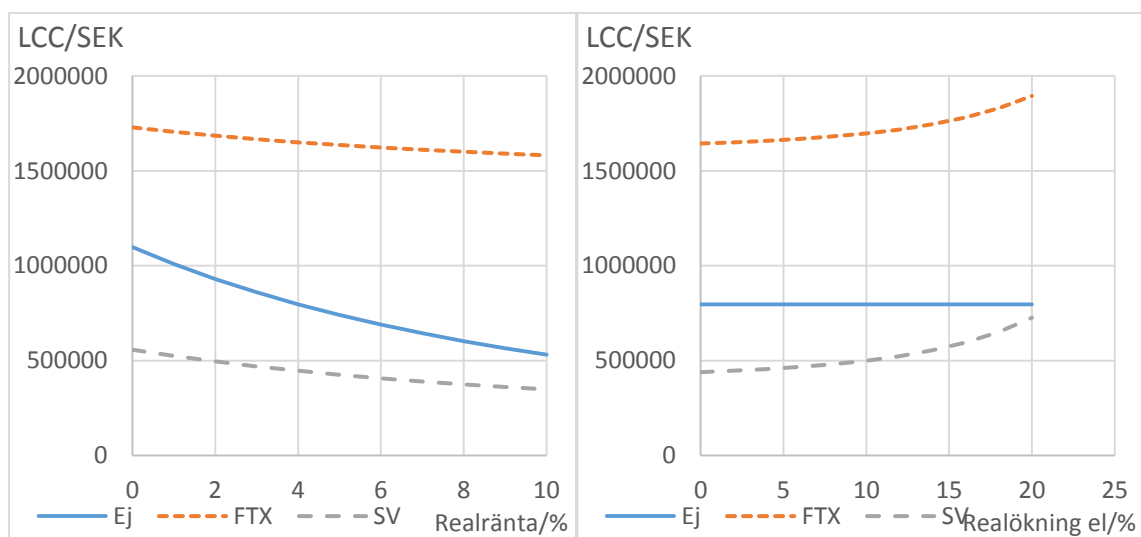
Figur 29 a-b. Nybyggt flerbostadshus i Malmö.



Figur 30 a-b. Nybyggt flerbostadshus i Kiruna.



Figur 31 a-b. Renoverat flerbostadshus i Malmö.



Figur 32 a-b. Renoverat flerbostadshus i Kiruna.

9. Slutsatser

Den testade och simulerade fönsterenheten för lokal FTX-ventilation är mycket intressant och ger stora möjligheter att ge värmewäxling, speciellt i renoveringsfallet. Enheten verkar fungera tillfredställande som tilluftsdon och vid rimliga inställningar bör ljudnivån klaras av.

Enkelheten gör den intressant vid renovering för att undvika brandlösningar och centrala lösningar, framför allt för flerbostadshus. Potential finns för utveckling vad gäller att eventuellt optimera driften för att öka värmeåtervinningen, att öka flödet från enheten för att klara lite större rum och att klara detta utan för mycket ljudeffekt. En annan viktig och säkert lösbar aspekt är att hålla visst undertryck för att undvika fuktkonvektion i ytterväggarna. En aspekt som inte har berörts är huruvida det skulle vara möjligt med pollenfilter. För ordinär FTX kan god filtrering erhållas.

Det skulle vara önskvärt att jobba vidare med utveckling av dessa lokala, småskaliga lösningar för att öka deras prestanda och i detta utvecklingsarbete testa dem i verkliga fall för att få längre tids mätningar och kunna återkoppla och utveckla enheten fortlöpande baserat på mätningarna.